

自动控制 原理

■ 张建民 主编

■ 林澄 曹艳 白晶 参编



 高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

自动控制

ZIDONG KONGZHI

原理

■ 张建民 主编

YUANLI

■ 林澄 曹艳 白晶 参编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书阐述了自动控制的基本理论,主要内容有系统数学模型的建立方法,线性连续系统的时域分析法、根轨迹分析法、频域分析法,系统校正方法,同时适当地介绍了离散控制系统、非线性控制系统的分析方法,以及关于 PID 调节器设计方法的内容。每章都结合本章内容介绍了 MATLAB 软件的使用。

本书从实际应用出发,力求突出物理概念,尽量减少繁琐的数学推导,紧密结合具体的自动控制系统介绍经典控制理论的最基本内容。内容叙述深入浅出、通俗易懂。

本书可作为应用型本科院校电气信息类专业以及机电类专业的教材,也可作为相关专业师生和从事自动化工作的工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制原理/张建民主编. —北京:高等教育出版社, 2010.6

ISBN 978 -7 -04 -029082 -0

I. ①自… II. ①张… III. ①自动控制理论 - 高等学校 - 教材 IV. ①TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 074689 号

策划编辑 欧阳舟 责任编辑 许海平 封面设计 李卫青 责任绘图 尹 莉
版式设计 范晓红 责任校对 俞声佳 责任印制 陈伟光

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京市白帆印务有限公司

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 25
字 数 560 000

购书热线 010 - 58581118
咨询电话 400 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2010 年 6 月第 1 版
印 次 2010 年 6 月第 1 次印刷
定 价 38.80 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 29082 - 00

前言

前言

随着科学技术的迅猛发展,自动控制技术的应用领域日益广阔,它不仅大量应用于空间技术、冶金、轻工、机电工程及交通管理、环境保护等领域,而且正不断向生物、人类社会等其他领域渗透。自动控制技术的广泛应用,不但使得生产设备或生产过程实现了自动化,大大提高了劳动生产率和产品质量,改善了劳动条件,同时,在人类探索大自然、改善居住和生活条件等方面也发挥了非常重要的作用。自动控制技术的主要作用是不需要人的直接参与而控制某些物理量按照指定的规律变化。由于自动控制技术在各个行业的广泛渗透,控制理论已逐渐成为许多学科共同的专业基础课,且愈来愈占有重要的位置。

自动控制技术的研究对象为自动控制系统,分析和设计自动控制系统的理论基础就是自动控制原理。自动控制原理一般分为:经典控制理论和现代控制理论。本书主要介绍经典控制理论的内容。根据应用型本科院校教学改革的方向,按如下思路安排章节次序:首先对自动控制系统的基本概念作必要的叙述,继而讨论实际系统的数学模型的建立方法。在此基础上,应用时域分析法、根轨迹分析法、频率特性分析法,对系统的稳定性、快速性、准确性等问题进行分析,并结合工程实际介绍自动控制系统的校正方法,以及关于PID调节器的设计方法的内容。由于计算机控制技术的发展,本书用适当的篇幅介绍了线性离散控制系统的分析方法,在最后一章简要介绍了非线性系统的基本概念。考虑到计算机仿真技术在自动控制系统分析中的应用越来越广泛,已成为分析自动控制系统的有力工具,在除第1章外各章的最后一节结合本章内容简要介绍了MATLAB计算机仿真分析方法。

本书在编写过程中,根据应用型本科院校的特点,适当降低了理论深度,内容编写力求深入浅出、循序渐进,注意物理概念的阐述,尽量避免繁琐的数学推导,紧密结合具体的自动控制系统介绍经典控制理论的最基本的内容,使抽象的控制理论与系统分析、设计相结合,理论和实践相结合,为读者学习后续专业课程奠定基础。

本书由张建民主编并统稿,参加本书编写的人员有张建民(第1章、第4章)、曹艳(第2章、第3章)、林澄(第5章、第6章)、白晶(第7章、第8章、附录)。全书由北京理工大学的陈祥光教授审阅,陈教授对本书进行了仔细的审阅并提出了宝贵的修改意见。在此,向对本书出版给予支持和帮助的各位同仁表示衷心地感谢。本书在编写过程中,参考了同行们的

II

前言

论著,在此,对他们表示由衷地谢意。

由于编者水平所限,书中难免有错误和不妥之处,殷切期望读者提出宝贵的意见和建议。

编者
2009.11

目录

第 1 章 自动控制系统的概念	1	2.4.4 系统动态结构图变换举例	43
1.1 自动控制与自动控制系统	1	2.5 信号流图及梅森公式	45
1.2 自动控制的方式	2	2.5.1 信号流图的基本概念	46
1.2.1 开环控制系统与闭环控制系统	2	2.5.2 信号流图的绘制	47
1.2.2 闭环控制系统的组成	8	2.5.3 信号流图的简化	49
1.3 自动控制系统的类型	9	2.5.4 梅森公式	50
1.3.1 按元件特性分类	9	2.6 自动控制系统的传递函数	52
1.3.2 按信号形式分类	10	2.6.1 系统开环传递函数	53
1.3.3 按给定信号形式分类	10	2.6.2 系统闭环传递函数	53
1.4 对自动控制系统的基本要求	10	2.6.3 系统误差传递函数	54
1.4.1 稳定性	11	2.7 MATLAB 中数学模型的表示	54
1.4.2 快速性	12	2.7.1 传递函数	55
1.4.3 准确性	13	2.7.2 控制系统的零极点模型	56
本章小结	13	2.7.3 控制系统结构图模型	56
习题	14	2.7.4 控制系统模型间的转换	58
第 2 章 控制系统的数学模型	17	本章小结	59
2.1 线性系统微分方程	17	习题	60
2.1.1 线性环节微分方程的建立	17	第 3 章 线性控制系统的时域分析	65
2.1.2 控制系统微分方程的建立	20	3.1 线性控制系统时域响应的性能	
2.2 非线性系统的线性化	22	指标	65
2.3 传递函数	25	3.1.1 典型初始状态	65
2.3.1 传递函数	26	3.1.2 典型输入信号	66
2.3.2 传递函数的性质	26	3.1.3 动态过程与稳态过程	67
2.3.3 典型环节的传递函数	27	3.1.4 性能指标	68
2.4 系统动态结构图	35	3.2 线性系统的时域响应分析	69
2.4.1 系统动态结构图的组成	35	3.2.1 一阶系统的时域响应	69
2.4.2 系统动态结构图的绘制	36	3.2.2 二阶系统的时域响应	72
2.4.3 系统动态结构图的等效变换	38	3.2.3 高阶系统的时域响应	80

判据	81	4.3.3 非最小相位系统的根轨迹	135
3.3.1 稳定性的概念	81	4.4 用根轨迹法分析系统的性能	136
3.3.2 稳定的充分必要条件	82	4.4.1 在根轨迹上确定闭环极点	136
3.3.3 劳思稳定判据	83	4.4.2 用根轨迹法分析系统的暂态特性	137
3.3.4 赫尔维茨判据	85	4.4.3 增加开环零、极点对系统性能的影响	139
3.3.5 相对稳定性和稳定裕量	86	4.5 用 MATLAB 绘制根轨迹	142
3.3.6 结构不稳定及改善措施	87	4.5.1 绘制系统根轨迹	142
3.4 线性控制系统的稳态误差	89	4.5.2 根轨迹分析	144
3.4.1 稳态误差的定义	89	本章小结	149
3.4.2 稳态误差计算	90	习题	149
3.4.3 系统类型	91	第 5 章 线性控制系统的频域分析	153
3.4.4 给定信号作用下的稳态误差分析	91	5.1 频率特性及其表示法	153
3.5 利用 MATLAB 进行时域分析	94	5.1.1 频率特性的基本概念	153
3.5.1 用 MATLAB 进行时域动态响应分析	94	5.1.2 频率特性的图形表示法	156
3.5.2 用 MATLAB 求根并进行系统稳定性分析	97	5.2 典型环节对数频率特性曲线的绘制	158
3.5.3 用 MATLAB 进行系统稳态误差分析	98	5.2.1 比例环节	158
本章小结	107	5.2.2 积分与微分环节	159
习题	107	5.2.3 惯性环节	161
第 4 章 线性控制系统的根轨迹分析	112	5.2.4 一阶微分环节	163
4.1 根轨迹的基本概念	112	5.2.5 振荡环节	164
4.1.1 根轨迹概念	112	5.2.6 滞后环节	166
4.1.2 根轨迹方程	113	5.3 系统的开环对数频率特性	167
4.2 根轨迹的绘制法则	115	5.3.1 系统开环对数频率特性	167
4.2.1 根轨迹的分支数与对称性	115	5.3.2 最小相位系统与非最小相位系统	169
4.2.2 根轨迹的起点与终点	116	5.3.3 系统类型与对数幅频特性之间的关系	171
4.2.3 实轴上的根轨迹	116	5.4 开环系统的幅相频率特性曲线	175
4.2.4 根轨迹的渐近线	117	5.4.1 典型环节的幅相频率特性曲线	176
4.2.5 根轨迹的分离点与会合点	119	5.4.2 开环系统幅相频率特性曲线的一般画法	180
4.2.6 根轨迹的出射角和入射角	122	5.5 奈奎斯特稳定判据	184
4.2.7 根轨迹与虚轴交点	124	5.5.1 预备知识	184
4.2.8 根之和	126	5.5.2 奈奎斯特稳定判据	186
4.3 广义根轨迹	131		
4.3.1 参数根轨迹	131		
4.3.2 零度根轨迹	133		

5.5.3 对数稳定判据	192	结构与参数	251
5.6 系统的相对稳定性	195	6.4.2 利用负反馈可以消除系统不可 变部分中的不希望有的特性	252
5.6.1 相对稳定性的概念	195	6.4.3 利用反馈校正抑制一些严重 扰动	253
5.6.2 相位裕量与幅值裕量	197	6.5 前馈-反馈复合校正	255
5.6.3 关于相位裕量和幅值裕量的 几点说明	199	6.5.1 对输入补偿的复合校正	255
5.7 闭环频率特性	202	6.5.2 对扰动补偿的复合校正	257
5.7.1 闭环频率特性	202	6.6 MATLAB 在控制系统校正中的 应用	259
5.7.2 尼科尔斯图	205	本章小结	264
5.8 频域指标与时域指标之间的 关系	209	习题	264
5.8.1 闭环频率特性指标与时域 指标	210	第7章 线性离散系统分析	268
5.8.2 开环频率特性与时域指标	212	7.1 离散系统的基本概念	268
5.9 MATLAB 在系统频域分析中的 应用	212	7.1.1 采样控制系统	269
5.9.1 利用 MATLAB 绘制伯德图并 求取稳定裕量	213	7.1.2 计算机控制系统	269
5.9.2 利用 MATLAB 绘制奈奎斯特图 并验证奈奎斯特稳定判据	217	7.1.3 离散控制系统	270
5.9.3 利用 MATLAB 绘制尼科尔斯图 及进行闭环系统分析	219	7.2 采样过程与采样定理	270
本章小结	220	7.2.1 信号采样	270
习题	221	7.2.2 采样定理	275
第6章 控制系统的校正	226	7.3 采样信号保持器	275
6.1 校正的基本概念	226	7.4 z 变换理论	277
6.1.1 频率法校正	226	7.4.1 z 变换的定义	277
6.1.2 校正方式	227	7.4.2 求 z 变换的方法	278
6.2 串联校正装置	229	7.4.3 z 变换的性质	279
6.2.1 无源校正网络	229	7.4.4 z 逆变换	280
6.2.2 PID 控制规律	234	7.5 离散系统的数学模型	282
6.3 基于频率法的串联校正设计	238	7.5.1 线性常系数差分方程	282
6.3.1 串联超前校正设计	238	7.5.2 脉冲传递函数	284
6.3.2 串联滞后校正设计	242	7.5.3 结构图等效变换	286
6.3.3 串联滞后-超前校正	246	7.6 离散系统的稳定性	293
6.3.4 利用希望特性进行校正的设计 方法	248	7.6.1 s 平面与 z 平面的映射关系	293
6.4 反馈校正	251	7.6.2 离散系统稳定的充分必要 条件	294
6.4.1 利用反馈校正改变局部环节的		7.6.3 离散系统稳定性判据	295
		7.6.4 参数对稳定性的影响	296
		7.7 离散系统的稳态误差	297
		7.8 离散系统的动态性能分析	300

7.8.1 离散系统的时间响应	300	8.4 非线性特性的利用	338
7.8.2 闭环极点与动态响应的关系	301	8.4.1 非线性阻尼控制	338
7.9 离散 PID 控制算法	304	8.4.2 非线性相角超前线路	339
7.10 用 MATLAB 进行离散系统		8.4.3 非线性积分器	339
分析	306	8.5 相平面法	341
7.10.1 脉冲传递函数	306	8.5.1 相平面	341
7.10.2 时域响应	307	8.5.2 相轨迹	341
7.10.3 离散 PID 控制器	308	8.5.3 相平面分析法	346
本章小结	311	8.6 基于 MATLAB/Simulink 的	
习题	312	非线性系统分析	350
第 8 章 非线性系统分析	316	8.6.1 死区非线性特性的死区折算	350
8.1 非线性系统概述	316	8.6.2 描述函数法应用	350
8.1.1 非线性系统的动态过程特点	317	8.6.3 非线性特性的利用	355
8.1.2 典型非线性特性及其对		8.6.4 相轨迹分析	357
系统性能的影响	319	本章小结	360
8.2 非线性特性的描述函数	322	习题	360
8.2.1 非线性特性的描述函数	322	附录	365
8.2.2 典型非线性特性的描述函数	323	附录 1 MATLAB 简介	365
8.3 非线性系统的描述函数法	330	附录 2 z 变换表	372
8.3.1 描述函数法	330	附录 3 部分习题答案	374
8.3.2 非线性系统的简化	330	参考文献	391
8.3.3 非线性系统分析	333		
8.3.4 描述函数法的应用	335		

第 1 章

自动控制系统的一般概念

在科学技术飞速发展的今天,自动控制技术也得到了迅猛的发展。无论是在航空、航天等国防军事领域,还是在石油、化工、机械制造、电力等工业领域,自动控制技术都起着十分重要的作用。自动控制技术的理论基础是自动控制原理,本章主要介绍自动控制的一般概念、自动控制系统的组成和分类、对控制系统的要求等。

1.1 自动控制与自动控制系统

所谓自动控制,是指在没有人直接参与的情况下,利用外加的设备和装置,使机器设备或生产过程的某个工作状态或参数自动地按照预定的规律运行。完成自动控制所需的物理部件构成的有机整体称为自动控制系统。

在自动控制系统中,外加的设备或装置称为控制器或控制装置,机器设备或生产过程统称为控制对象,被控制的工作状态或参数称为被控量或输出量。输出的期望值为给定量,即输入量。妨碍控制量对被控量进行正常控制的所有因素称为扰动量。给定量和扰动量都是控制系统的输入量。自动控制的任務就是使系统按照给定量所设定的规律运行。

图 1-1 所示为一个电动汽车自动控制系统。系统通过控制装置来调整电动机的转速,达到控制车速的目的。此时电动汽车就是被控对象,被控量为车速(即车轮转速),期望速度为系统的给定量,路面上的颠簸冲击为系统的干扰。系统中的期望速度由无线电传递给电

动汽车,电动汽车接收到信号后,就会通过控制器和驾驶机构带动车轮旋转,使电动汽车行驶。同时通过速度检测装置检测电动汽车速度,将检测到的速度转换成与期望速度相同的物理量,并送回到控制器,控制器将给定值与检测值比较后,发出控制信号。当路面颠簸,车速低于期望速度时,控制器控制执行机构,将电动机转速提高,使车速加快,直至实际车速与期望速度相同。反之,当车速偏高时,亦可进行减速调节。这样就实现了无人直接参与的电动汽车速度自动控制。

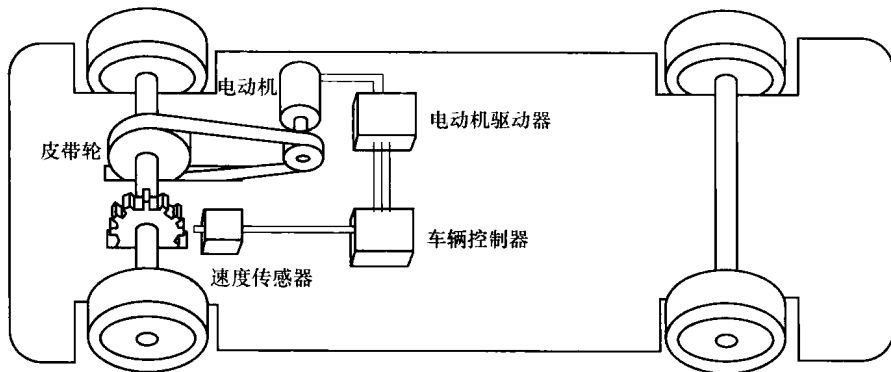


图 1-1 电动汽车自动控制系统

为表示系统输入量与输出量之间的作用关系,可采用方框图的形式直观地表示。图1-2是电动汽车速度控制系统的方框图。图中箭头方向表示信号传递方向。

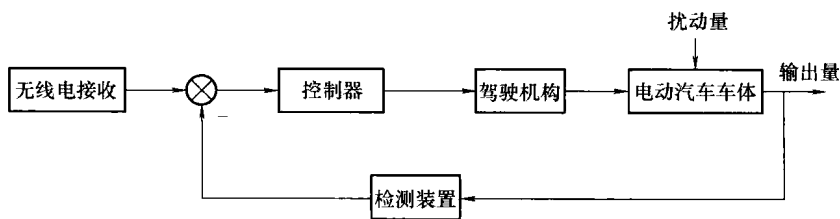


图 1-2 电动汽车速度控制系统方框图

1.2 自动控制的方式

1.2.1 开环控制系统与闭环控制系统

控制系统按其结构可分为开环控制系统、闭环控制系统和复合控制系统。

1. 开环控制

若系统中的信号只从控制装置向被控对象传递,而无反向传递,即信号传递路径不构成

闭合回路,这类控制称为开环控制,相应的控制系统称为开环控制系统,如图 1-3 所示。

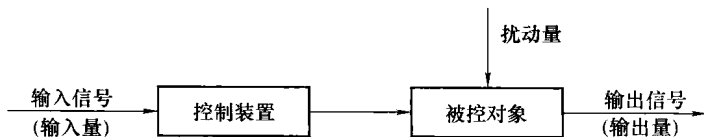


图 1-3 开环控制系统方框图

图 1-4 所示为一驱动盘片机匀速转动的转台,这种转台在 CD 机、计算机磁盘驱动器等许多装置中广泛应用。在本系统中被控对象为转台,直流电动机为执行机构,输出量为转台转速,给定量来自电池电压。该系统利用电池提供与期望速度成正比的电压,经直流放大器进行功率放大后,驱动直流电动机,直流电动机带动转台旋转,其中,直流电动机的转速与加在其电枢上的电压成正比,系统方框图如图 1-5 所示。由图可见,系统的被控量没有反馈到系统的输入端与给定量进行比较,即被控量不对系统产生控制作用,故属开环控制系统。这种转台在直流电动机或其他部件的参数发生变化的情况下,或受到扰动如电网电压的波动、环境温度变化引起的放大倍数的变动等情况下,都会引起转速 n 的改变。因此,该系统不能克服由此产生的偏差,无法保持速度的恒定。

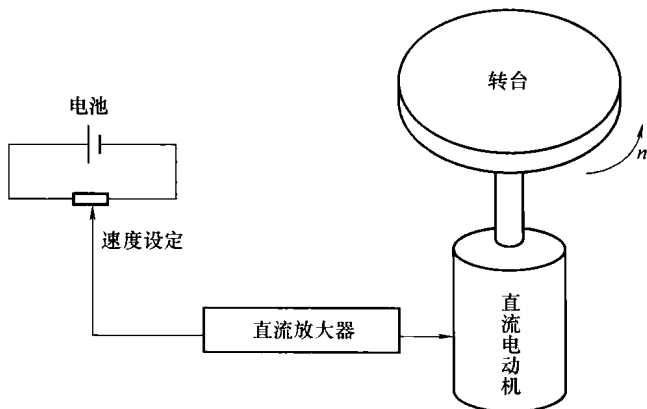


图 1-4 转台转速开环控制系统

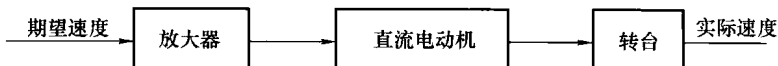


图 1-5 转台转速开环控制系统方框图

开环控制系统是一类简单而经济的控制系统。在开环控制系统中,系统的输出对输入无影响,一个确定的输入量只对应一个确定的输出量,系统精度将取决于控制器及被控制对

象参数的稳定性。也就是说,欲使开环控制精度高,则系统各部分的参数值必须保持在事先校准的值上,这就对元件的质量提出较高要求。另外,该系统不能克服干扰,当输出量波动时,系统分不清是干扰引起的还是给定量变化引起的。

2. 闭环控制

在控制系统中,通过测量装置检测输出量,并与输入信号进行比较,进而使控制装置按照二者的差值来调节输出量,此类控制方式称为闭环控制。此时系统中存在信号的反向传递,通过测量装置使信号流构成闭合回路。闭环控制又称为反馈控制或按偏差控制,相应的控制系统称为闭环控制系统,如图1-6所示。

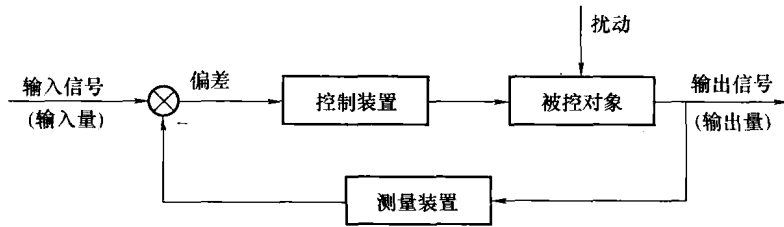


图 1-6 闭环控制系统方框图

图1-7所示为转台转速闭环控制系统,对应的系统方框图如图1-8所示。与图1-4所示的开环控制相比,系统中加入了检测装置——测速机,它能提供与转速成正比的电压信号。将对应期望速度的给定电压与测速机输出电压相减后得到偏差信号,偏差信号经放大后,驱动直流电动机,直流电动机带动转台旋转。当期望速度为定值,而实际速度受扰动的影响发生变化时,偏差电压也会随之发生变化,通过系统的调节,使实际速度接近或等于期望速度,从而消除扰动对速度的影响,提高系统的控制精度。

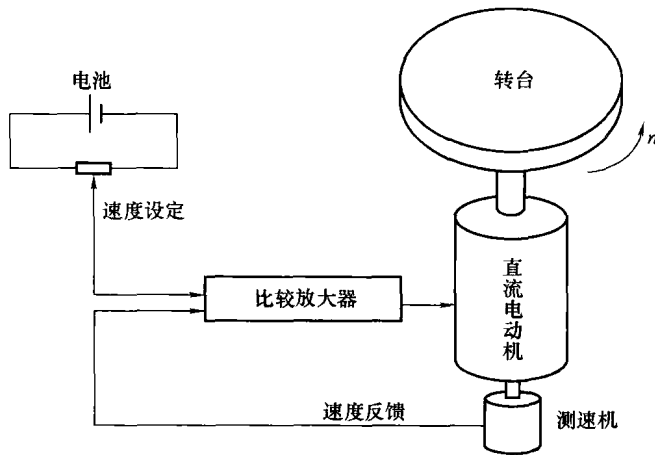


图 1-7 转台转速闭环控制系统

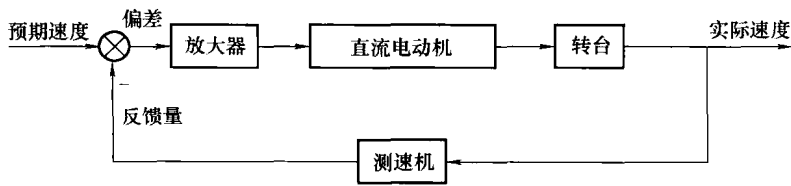


图 1-8 转台转速闭环控制系统方框图

图 1-9 所示是一个电冰箱制冷系统工作原理图,该系统的任务是保持电冰箱内的温度 T_c 等于设定的温度 T_r 。电冰箱箱体是被控对象,箱内温度是被控量,由控制器旋钮设定的电位器输出电压(与希望的温度 T_r 值对应)是给定量。

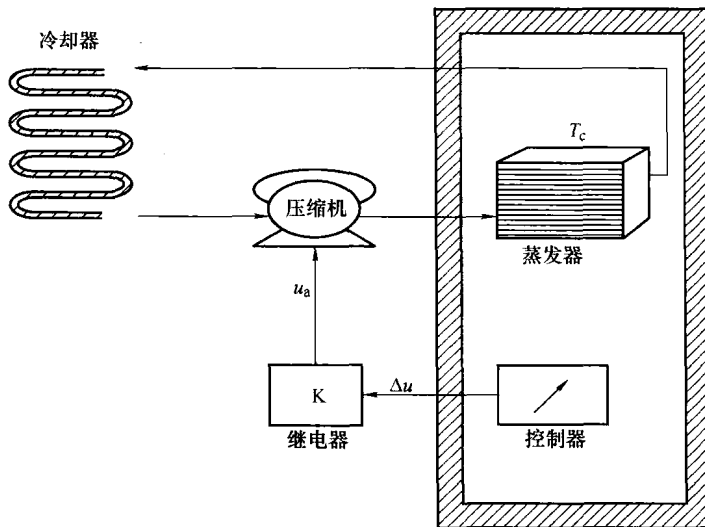


图 1-9 电冰箱制冷系统工作原理图

温度控制器中的双金属温度传感器(测量元件)感受电冰箱内的温度并把它转换为电压信号,与控制器旋钮设定的电位器(给定元件)输出电压(对应希望温度 T_r)相比较,利用偏差电压 Δu (T_c 与 T_r 的偏差)控制继电器。当 Δu 大到一定值时,继电器接通,压缩机起动,将蒸发器中的高温低压气态制冷剂送入冷却器散热;降温后的低温低压制冷剂被压缩成低温高压液态进入蒸发器,急速降压扩散成气体,吸收箱体内部的热量,使箱体内温度下降;而高温低压制冷剂又被吸入冷却器。如此循环流动,保证电冰箱的制冷效果。继电器、压缩机、蒸发器和冷却器组成系统的执行机构,完成降温功能。

电冰箱制冷系统方框图如图 1-10 所示。

由上可见,被控对象是看得见的实体,不能与物理量相混淆。被控量则是表征被控对象

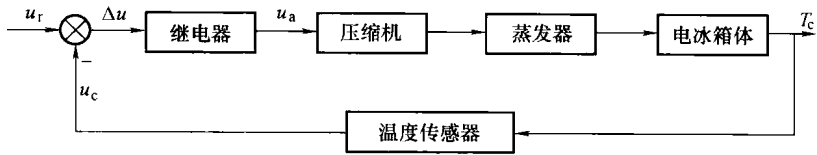


图 1-10 电冰箱制冷系统方框图

工作状态的物理量。确定被控对象要看控制的目的和任务。本控制系统的任务是使箱体内温度 T_c 与设定温度 T_r 相一致, 所以被控对象是电冰箱箱体而不是压缩机或制冷剂。

再举一个闭环控制的例子。图 1-11 所示是一个速度控制系统原理图。在本系统中用测速发电机 TG 检测输出量——电动机 M 转速 n , 并将其转换成反馈电压 u_f , 然后反馈到输入端, 与给定电压 u_g 相比较。其偏差经过运算放大器放大后, 用来控制功率放大器输出电压 u_d 和电动机的转速 n 。当电位器滑动端在某一位置时, 电动机就以指定的转速运转。

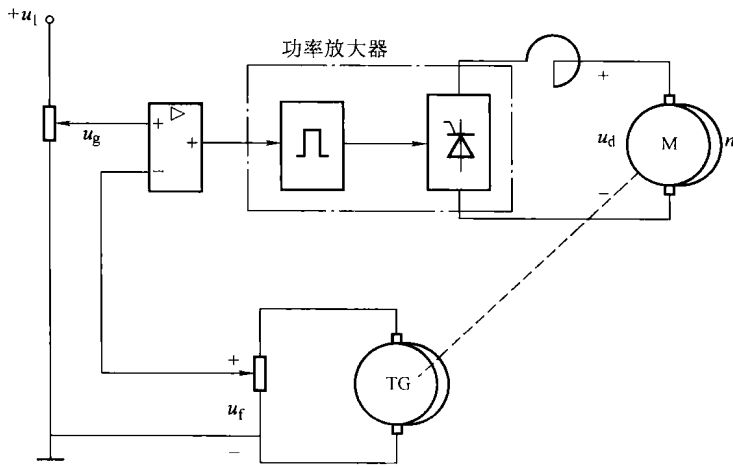


图 1-11 速度控制系统原理图

如果由于外部或内部扰动(例如由于负载突然增加)使电动机转速降低, 那么这一速度的变化, 将由测速发电机检测出来。此时反馈电压相应降低, 与给定电压比较后, 偏差电压增大, 再经过运算放大器放大后, 将使功率放大器输出电压 u_d 升高, 从而减小或消除电动机的转速偏差。调节过程如下:

$$n \downarrow \rightarrow u_f \downarrow \rightarrow \Delta u (u_g - u_f) \uparrow \rightarrow u_d \uparrow \rightarrow n \uparrow$$

这样, 不用人的干预, 系统就可以近似保持给定速度不变。图 1-12 给出了速度控制系统方框图。

在闭环控制系统中, 由于(负)反馈元件的存在, 使控制系统的精确性提高, 适应性加强。因为不论是系统内部的干扰还是系统外部的干扰, 使得系统输出量发生变化, 偏离了期望

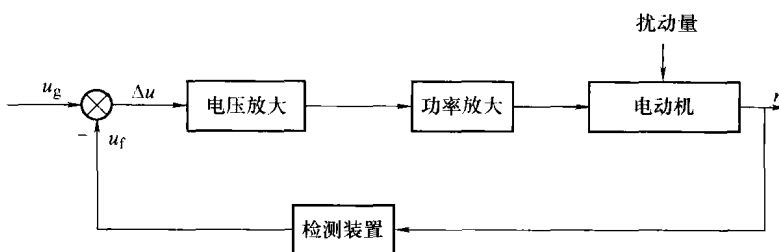


图 1-12 速度控制系统方框图

值,都会被反馈元件所感知,通过比较元件及控制装置去调节输出量,以克服各种干扰的影响,提高控制系统的精确性。

闭环控制系统具有如下特点:

(1) 由于系统的控制作用是通过给定量与反馈量的差值进行的,故这种控制常称为偏差控制或反馈控制。

(2) 这类系统具有两种传输信号的通道。由给定量至被控量的通道称为前向通道,由被控量至系统输入端的通道称为反馈通道。

(3) 不论取什么物理量进行反馈,作用在反馈环内前向通道上的扰动所引起的被控量的偏差值,经系统调节和控制,都会得到减小或消除,使得系统的被控量基本不受该扰动的影响。正是由于这种特性,使得闭环控制系统在控制工程中得到了广泛的应用。

3. 复合控制

反馈控制是在外部的给定量及扰动量作用下,系统的被控量发生变化后才作出相应调节和控制的,若系统中有些环节有较大的惯性,或有纯滞后特性,其控制作用则难以及时影响被控量,因而影响控制质量的提高。为克服此缺点,出现了前馈补偿控制,它将给定量或扰动量直接折算到系统输入端,对控制量的大小进行修正,即在偏差产生之前就进行了防止偏差产生的控制。在图 1-13(a)中通过输入补偿装置来实现对输入信号的补偿控制,在图 1-13(b)中,在扰动信号可测时,通过扰动补偿装置来实现对扰动信号的补偿控制。在前馈补偿控制方式中,由于被控量对控制过程不产生任何影响,故它也属于开环控制。前馈补偿

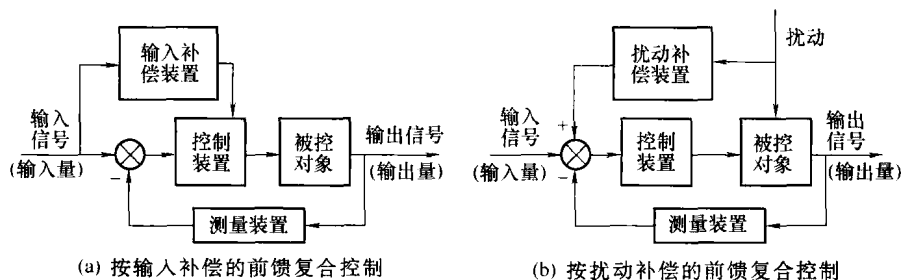


图 1-13 复合控制示意图

控制与反馈控制相结合,就构成了复合控制。复合控制有两种基本形式:按输入前馈补偿的复合控制和按扰动前馈补偿的复合控制,如图1-13所示。

1.2.2 闭环控制系统的组成

闭环控制是自动控制系统中应用广泛的一种控制方式。一般的闭环控制系统都可以抽象为如图1-14所示的组成形式,它主要由给定环节、比较环节、校正环节、功放环节、执行机构及检测装置等组成。

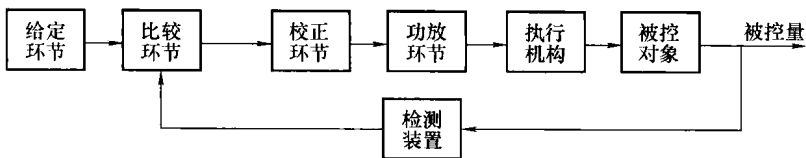


图 1-14 闭环控制系统组成方框图

1. 给定环节

给定环节是设定给定值的装置,为控制系统设定一输入信号以决定系统的期望输出,如电位器可以给出恒值输入信号。数字给定装置可以给出较精确的恒值信号或序列值信号。

2. 比较环节

比较环节将给定环节输出的给定值与检测装置测得的输出值(反馈值)进行比较,从而产生期望值与实际值的偏差,通常用给定值减去反馈值,以使闭环系统构成负反馈。常用的比较环节的元件有差分放大器、机械差动装置、电桥电路等。

3. 校正环节

按某种规律对偏差信号进行运算,用运算的结果控制执行机构以改善被控制系统的性能。

4. 功放环节

功放环节的作用是提升控制信号的功率,以驱动执行机构。

5. 执行机构

其作用是控制被控对象的行为以改变其输出值。用来作为执行机构的元件有:阀、电动机、液压马达等。

6. 检测装置

该装置用来检测被控量,如热电偶、测速发电机等,并将其转换为与给定量相同的物理量。因为检测装置的误差无法通过闭环控制得到修正,故实际系统对检测装置要求较高。

在控制系统中,常把比较环节、校正环节合在一起称为控制器。图1-6是一种简化的闭环控制系统方框图。